

APLIKASI ELEKTROKOAGULASI PASANGAN ELEKTRODA ALUMINIUM PADA PROSES DAUR ULANG GREY WATER HOTEL

THE APPLICATION OF ELECTROCOAGULATION USING ALUMINUM ELECTRODES IN RECYCLE OF HOTEL'S GREY WATER

Ansiba Nur¹ dan Agus Jatnika²

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
¹aul1310_ansi@yahoo.com , ²agusje@tl.itb.ac.id

Abstrak: Elektrokoagulasi salah satu teknologi mempunyai efisiensi yang tinggi dalam penghilangan kontaminan, menghasilkan effluen yang jernih, waktu operasional yang pendek, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit, stabil dan mudah disisihkan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan grey water sintetis dan asli dari Hotel Grand Royal Panghegar secara batch dan sistem menerus menggunakan pasangan elektroda aluminium monopolar. Percobaan batch dilakukan perlakuan terhadap limbah sintetis. Variasi yang digunakan pada sistem batch adalah waktu kontak (5 - 60 menit) dan kerapatan arus (21 - 104 A/m²). Pada sistem kontinyu digunakan kerapatan arus 104 A/m² pada variasi waktu detensi (900, 936, 975 detik) dan variasi beban (200;300;400 mg COD/L). Dari hasil penelitian pada sistem batch diperoleh kondisi optimum pada kerapatan arus 104 A/m² pada menit ke-15 dengan laju pelepasan ion aluminium sebesar 0,0071 g/menit. Kinetika laju perubahan konsentrasi pada reaktor elektrokoagulasi mengikuti orde 1 pada memberikan hasil terbaik pada penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak yaitu sebesar 87,73%, 87,48% dan 77,50%. Pada aplikasi elektrokoagulasi sistem menerus dengan variasi waktu kontak 975 detik memberikan hasil terbaik dengan tingkat penyisihan kekeruhan sebesar 89,32%, COD sebesar 89,09% dan minyak lemak sebesar 89,79%, sementara pada variasi beban pengolahan 400 mg COD/L memberikan hasil terbaik dengan tingkat penyisihan kekeruhan sebesar 89,97%, COD sebesar 61,52% dan minyak lemak sebesar 90,05%. Hasil proses elektrokoagulasi ini berada di bawah baku mutu yang ditetapkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 serta Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2011, sehingga aman digunakan sebagai reclaimed water untuk flushing toilet dan penyiraman tanaman.

Kata kunci: elektrokoagulasi, elektroda aluminium, kerapatan arus, grey water, reclaimed water

Abstract: Electrocoagulation is one technology that has high efficiency in the removal of contaminants, good quality effluent, short operation time, low sludge production, stable and easy to remove. This research uses synthetic and Grand Hotel Royal Panghegar's grey water and conducted with batch and continuous systems using aluminum monopolar electrode pair. Batch experiments uses synthetic grey water. Variations used in the batch system are detention time (5-60 minutes) and current density (21-104 A/m²). The continuous system uses the current density 104 A/m², variation detention time (900, 936, 975 seconds) and load variations (200; 300; 400 mg COD/L). The results obtained in the batch system has optimum condition on the current density 104 A/m² in the 15th minute with an aluminum ion release rate is 0.0071 g/min. Kinetics of concentration on the rate of the electrocoagulation reactor following the first order reaction gives the best results in the elimination of turbidity, COD and oil grease efficiency are 87.73%, 87.48% and 77.50%. In the application of continuous electrocoagulation system with a detention time of 975 seconds variation gives the best results with turbidity removal efficiency is 89.32%, COD is 89.09% and oil grease is 89.79%, while the variation of the processing load of 400 mg COD/L gives the best results with turbidity removal efficiency is 89.97%, COD is 61.52% and oil grease is 90.05%. The results of the electrocoagulation process is under the quality standard of Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Number 907/MENKES/SK/VII/2002 and Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Number 112 Year 2011, so it is safe to use reclaimed water for flushing toilets and watering plants.

Keywords: electrocoagulation, aluminum electrode, current density, grey water, reclaimed water

PENDAHULUAN

Ketersediaan air tanah di beberapa kawasan hunian dan tempat tinggal mengalami penurunan setiap tahunnya, termasuk di kawasan hotel yang memerlukan air tanah sebagai sumber air bersih untuk operasional kesehariannya, sementara membuang sejumlah air limbah dengan konsentrasi yang tinggi dapat merusak lingkungan.

Hotel Grand Royal Panghegar berlokasi di Jalan Merdeka No.2, Bandung terdiri dari 21 lantai dengan luas total 65.000 m². Rata-rata kebutuhan air bersih untuk operasional Hotel bintang 4 sebesar 750 m³/hari (Dinas Pariwisata Daerah Provinsi Jawa Barat, 2014). Kebutuhan tersebut dipenuhi dari PDAM dan *deep well*. Sejak pemerintah Kota Bandung memperketat pengawasan ijin pengambilan air tanah dan memberlakukan kenaikan tarif retribusi air tanah (Bapedalda Kota Bandung, 2013) mendorong para pelaku bisnis untuk mengadaptasi teknologi daur ulang *grey water* sebagai solusi pembatasan pengambilan air tanah.

Daur ulang air limbah sebagai upaya strategi terpadu menyelamatkan ketersediaan air tanah (Gulyas *et al.*, 2007 dan Li *et al.*, 2009). Salah satu teknologi yang dikembangkan pada pengolahan *grey water* adalah elektrokoagulasi (Lin *et al.*, 2005, Jamrah *et.al*, 2007, Yan *et al.*, 2008, Li *et al.*, 2009, Rodrigo *et al.*, 2010). Elektrokoagulasi mempunyai efisiensi yang tinggi dalam penghilangan kontaminan, menghasilkan effluen yang jernih, tidak berwarna dan tidak berbau, waktu operasional yang pendek, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit stabil dan mudah disisihkan (Notodarmojo, 1995, Mollah *et al.*, 2004, Lin *et al.*, 2005, Holt *et al.*, 2005, Djaenudin *et al.*, 2013 Rodrigo *et al.*, 2010, Butler *et al.*, 2011, Harif *et al.*, 2012 dan Mechelhoff *et al.*, 2013).

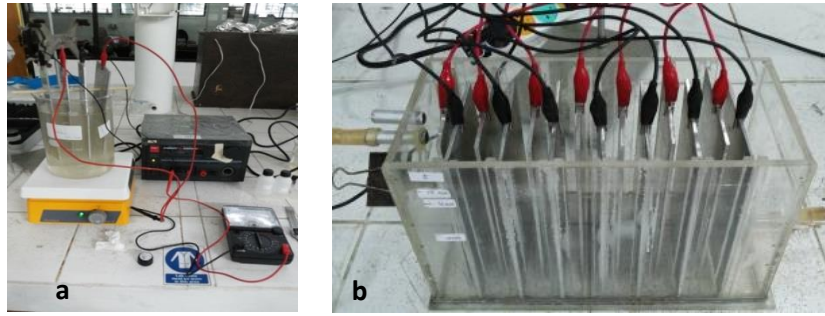
Penelitian ini mempelajari proses elektrokoagulasi menggunakan pasangan elektroda aluminium untuk menyisihkan kontaminan di dalam air buangan domestik (*grey water*) hotel sehingga dapat digunakan kembali (*reclaimed water*) untuk keperluan pembilasan (*flushing*) toilet dan penyiraman tanaman.

METODOLOGI

Proses yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan proses pengambilan sampel dari bak ekualisasi Instalasi Pengolahan Air Buangan (IPAL) Hotel Grand Royal Panghegar karena merupakan pertemuan semua aliran effluent dari kegiatan operasional hotel sehingga sampel dapat merepresentasikan kondisi eksisting dan representatif.

Reaktor batch (**Gambar 1.a**) menggunakan *beaker glass* dari bahan *pyrex glass* berkapasitas 2 liter. Elektroda yang digunakan adalah plat aluminium 95,7% (Laboratorium Teknologi Mineral dan Batu Bara, 2014) dengan ukuran 8 x 20 cm sebanyak 4 buah (2 buah anoda dan 2 buah katoda). Plat elektroda yang terendam dalam larutan adalah 15 cm, sehingga luas permukaan basah elektroda anoda sebesar 0,024 m². Reaktor dilengkapi dengan *magnetic stirrer* yang diatur pada skala 5 untuk mengaduk larutan sampel agar konsentrasi koagulan menjadi homogen dan tersebar merata di dalam larutan (Bayar *et.al*, 2011). Konfigurasi elektroda monopolar disusun secara paralel, dipasang secara berselang antara anoda dan katoda (Mollah *et al.*, 2004) dengan jarak 2,5 cm. Semua elektroda dihubungkan dengan arus listrik yang berasal dari sumber arus DC (Diamond GSV 3000, 0-20 V dan 0-34 A). Variasi kuat arus yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,5-2,5 A setara dengan kerapatan arus 20-104 A/m². Pengukuran kuat arus dan tegangan menggunakan avometer merek Sunwa YX-360TRN, pengukuran pH menggunakan pH-meter merek Sartorius, konduktivitas dan suhu menggunakan konduktivimeter merek Seven GoPro dan kekeruhan menggunakan *turbicheck* merek Lovibond. Pengamatan dan pengukuran ukuran flok yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi menggunakan mikroskop cahaya Olympus CX-21 perbesaran 10 x, diamati dengan menggunakan lensa okuler.

Reaktor kontinu (**Gambar 1.b**) terbuat dari *plexiglas* yang berdimensi 20 x 7 x 15 cm dengan kapasitas 1,95 liter. Model reaktor menggunakan *baffle channel horizontal flow* (Soewondo, 2005 dan Lin *et al.*, 2005), dimana elektroda diletakkan sepanjang aliran air limbah sebanyak 14 buah (7 buah anoda dan 7 buah katoda) yang berukuran 5 x 15 cm dengan bagian yang terendam air adalah 13,3 cm, sehingga luas basah total elektroda anoda adalah 0,0466 m².



Gambar 1. Rangkaian reaktor elektrokoagulasi konfigurasi elektroda monopolar

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah sintesis dan limbah asli. Sumber limbah asli dari *grey water* Hotel Grand Royal Panghegar yang berlokasi di Jalan Merdeka No.2 Bandung. Karakteristik limbah sintesis dibuat menyerupai karakteristik limbah asli dengan menambahkan glukosa, KCl, clay, minyak goreng serta air ledeng sebagai air pencampur. Parameter yang akan diukur adalah pH, temperatur, konduktivitas, *Total Dissolved Solid* (TDS), COD, kekeruhan dan minyak lemak.

Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat (*grab sample*) dimana sampel diambil langsung pada saat tertentu dari satu titik, yaitu pada titik yang sama dan pada kedalaman yang sama pada reaktor batch dan titik outlet pada reaktor kontinyu. Adapun parameter dan metode analisis yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Metode pengujian dan analisis

Jenis Parameter	Metode Pengujian	Metode Analisa
pH	SNI 06-6989.11-2004	pH-meter
Temperatur	SNI 06-6989.23-2005	Termometer
Konduktivitas	SNI 06-6989.1-2004	Konduktivimeter
TDS	SK SNI M-03-1989-F	Konduktivimeter
Kekeruhan	SK SNI M-03-1989-F	Turbidimeter
COD	SNI 6989.2:2009	Refluks tertutup / COD Mikro
Minyak Lemak	SNI 06-6989.10-2004	Ekstraksi – Soxhlet
pH	SNI 06-6989.11-2004	pH-meter

Variasi penelitian pada reaktor batch adalah terhadap kerapatan arus listrik, waktu detensi dan pH. Hasil variasi kerapatan arus listrik, waktu detensi dan pH terbaik akan digunakan sebagai dasar untuk running pada reaktor kontinyu. Variasi penelitian pada reaktor kontinyu terhadap waktu detensi dan beban pengolahan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Asli

Hasil uji karakteristik air buangan domestik (*grey water*) Hotel Grand Royal Panghegar dapat dilihat pada **Tabel 2**. Berdasarkan hasil pengukuran karakteristik *grey water* Hotel Grand Royal Panghegar pada **Tabel 2** menunjukkan beberapa parameter *grey water* berada di atas baku mutu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2011 dan Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 kelas 3. Oleh karena air limbah domestik (*grey water*) ini akan dimanfaatkan kembali (*reclaimed water*) untuk berbagai keperluan operasional hotel yaitu untuk *flushing* dan penyiraman tanaman, maka air hasil daur ulang air limbah (*reclaimed water*) ini memerlukan tingkat proses pengolahan sampai mencapai tingkat kualitas tertentu sesuai dengan rencana penggunaannya, maka kadar kekeruhan maksimum yang akan dijadikan acuan sebagai persyaratan yang diperbolehkan untuk *reclaimed water* hotel ini mengacu kepada baku mutu

yang mendekati baku mutu air minum yang diizinkan berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang parameter fisika untuk air minum, yaitu kadar kekeruhan maksimum yang diperbolehkan untuk baku air minum adalah sebesar 15 NTU. Selain itu, kualitas air yang digunakan pada sistem *flushing* di Indonesia mayoritas menggunakan air dengan kualitas air minum yang berasal dari PDAM.

Tabel 2. Karakteristik air buangan domestik (*grey water*) Hotel Grand Royal Panghegar

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu	Metode Analisa
Fisika					
1	Suhu	°C	24,8		WQC
2	Kekeruhan	NTU	112		Turbidimeter
3	TDS	mg/L	499,8		Gravimetri
4	TSS	mg/L	72,8		
5	Konduktivitas	µS/cm	714		Konduktivimeter
Kimia					
1	pH	-	8,55	6 – 10 **	pH meter
2	COD	mg/L	352	100 *	Titrimetri
3	Minyak & Lemak	mg/L	24,2	10	Gravimetri
4	Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,0172		Spektrofotometri
5	Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	0,29		Spektrofotometri
6	Ammonia (NH ₄ ⁺ - N)	mg/L	21,12		Spektrofotometri
7	Total Pospat	mg/L	1,98		Spektrofotometri
8	Surfaktan	mg/L	6,38		Spektrofotometri

Baku Mutu : * Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2011

** PP No. 82 Tahun 2001

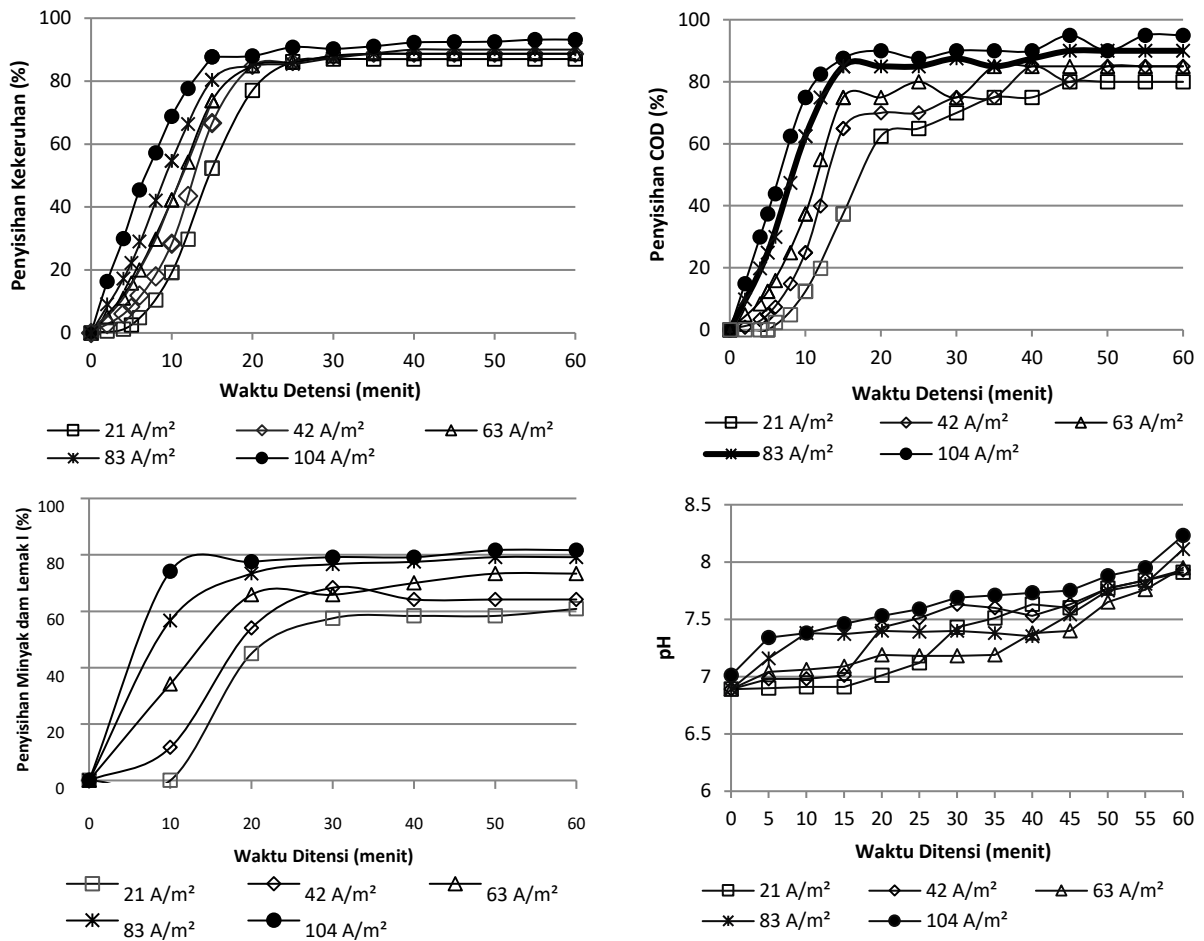
Proses Elektrokoagulasi Limbah Sintetis Secara Batch

Percobaan batch dilakukan pada variasi kerapatan arus, waktu detensi dan pH. Hasil variasi pengolahan yang paling efektif digunakan sebagai acuan untuk menentukan kuat arus dan variasi pada variabel waktu kontak untuk diaplikasikan pada reaktor elektrokoagulasi pada sistem kontinyu.

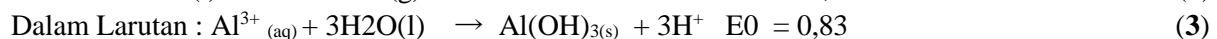
Pengaruh Kerapatan Arus dan Waktu Detensi

Proses elektrokoagulasi sangat dipengaruhi oleh kerapatan arus dan waktu detensi, hal ini berkaitan dengan pelepasan ion Al³⁺ sebagai agen koagulan (Mollah *et al.*, 2001 dan Holt *et al.*, 2005) dalam penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak seperti terlihat pada **Gambar 2**. Mekanisme penyisihan kekeruhan melalui pengikatan oleh inti koagulan, penyisihan COD disebabkan zat-zat organik yang terlarut ikut terikat dengan flok dan COD teroksidasi akibat kehadiran oksidator dan penyisihan minyak dan lemak dalam bentuk koloid oleh Al³⁺ yang mampu mendestabilisasi minyak yang teremulsi dalam larutan.

Dari **Gambar 2** dapat dilihat efisiensi penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak mengalami penurunan yang cukup signifikan sampai pada menit ke-15, lalu relatif konstan dan bahkan mencapai kondisi *steady state* sampai menit ke-60, artinya setelah menit ke-20 tidak terjadi perubahan konsentrasi kekeruhan, COD dan minyak lemak meskipun masih terdapat penyisihan dalam jumlah kecil. Pada kerapatan arus 104 A/m² terjadi penurunan yang penyisihan yang sangat cepat karena arus listrik yang dialirkan lebih tinggi sehingga ion Al³⁺ yang teroksidasi dalam jumlah banyak dan berikatan dengan OH⁻ dan membentuk koagulan dalam jumlah yang banyak sehingga partikel terdestabilisasi dalam bentuk flok dengan cepat dan dalam jumlah yang banyak sehingga menyisihan kekeruhan sebesar 87,73%, COD sebesar 87,48% dan minyak lemak sebesar 77,50%. Flok yang terbentuk sebagian ada yang ikut mengendap serta mengapung ke atas permukaan larutan karena kehadiran gas H₂ yang terjadi di katoda, menurut reaksi berikut ini (Mollah *et al.*, 2004).



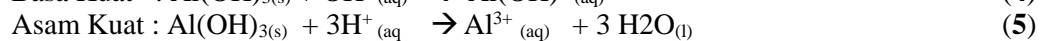
Gambar 2. Efisiensi penyisihan pada variasi kerapatan arus dan waktu detensi

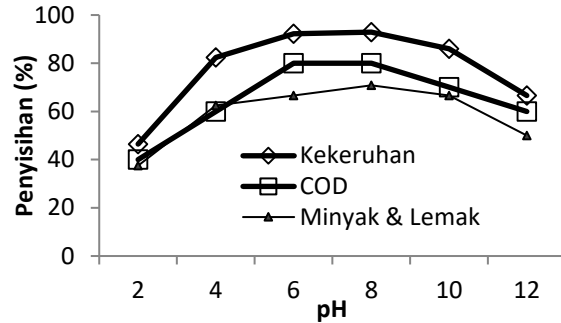


Pengaruh pH

Proses elektrokoagulasi juga dipengaruhi oleh pH limbah (Mollah *et al.*, 2004, Holt *et al.*, 2005 dan Liu *et al.*, 2010), maka variasi nilai pH awal air limbah sintesis adalah 2 – 11 selama 30 menit pada kerapatan arus 104 A/m². Untuk mendapatkan suasana basa, maka pada air limbah sintesis ditambahkan NaOH dan untuk mendapatkan suasana asam, maka ditambahkan H₂SO₄.

Tingkat penyisihan yang paling baik untuk kekeruhan, COD dan minyak lemak yaitu pada rentang pH 4 - 10. Menurut Harif *et al* (2012) pada rentang tersebut terjadi proses hidrolisis ion Al yang menghasilkan senyawa Al(OH)²⁺, Al₂(OH)²⁴⁺, Al(OH)³⁺ dan senyawa polimer Al₁₃(OH)₃₂⁷⁺ yang efektif dalam proses koagulasi. Pada pH di bawah 4 senyawa yang terbentuk adalah ion Al³⁺, (**Persamaan 5**), sedangkan pada pH di atas 10 senyawa yang terbentuk adalah Al(OH)⁴⁻ (**Persamaan 4**). Kedua senyawa ini bersifat amfoter dan memiliki sifat kurang efektif dalam proses koagulasi.

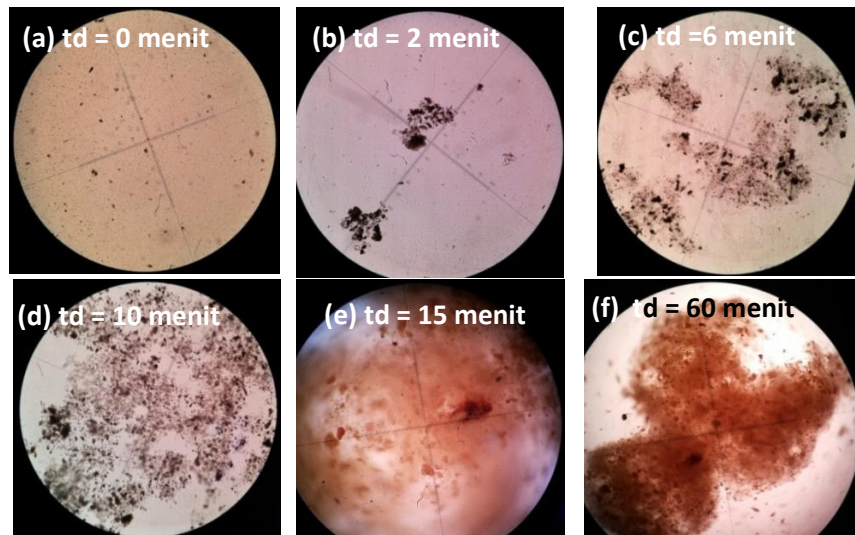




Gambar 3. Tingkat penyisihan pada kenaikan pH pada proses elektrokoagulasi (104 A/m^2 , $t_d = 30$ menit)

Mekanisme Pembentukan Flok

Kecepatan pengendapan flok pada kondisi optimum adalah $0,0571 - 0,125 \text{ cm/detik}$. Mekanisme pembentukan flok akibat proses oksidasi elektrolisis pada elektroda pada kerapatan arus 104 A/m^2 dan pada waktu detensi $0 - 60$ menit dapat dilihat pada **Gambar 4**.



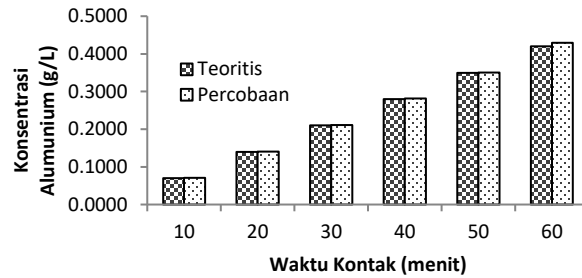
Gambar 4. Bentuk dan ukuran flok pada kerapatan arus 104 A/m^2
(a-e) Pembesaran 10 x, (h) Pembesaran 4 x

Pada **Gambar 4** terlihat partikel tersuspensi dalam air berupa partikel bebas dan koloid dengan ukuran yang sangat kecil, antara $0,001$ mikron (10^{-6} mm) sampai 1 mikron (10^{-3} mm) pada $t_d = 0$ menit. Pada saat elektroda dihubungkan dengan sumber listrik maka reaksi redoks terjadi, destabilisasi kontaminan dan partikel tersuspensi mulai membentuk flok. Mekanisme pembentukan flok akibat fenomena *sludge blanket* mampu menjebak dan menjembatani partikel koloid yang ada di air limbah. Pada menit ke-60 flok yang terbentuk memiliki ukuran $0,25 - 1 \text{ mm}$ sehingga mudah untuk dipisahkan.

Laju Pelepasan Aluminium

Untuk mengetahui berat plat Al yang larut dapat dihitung dari masa logam Al yang larut dengan menggunakan hukum Faraday I membuat hubungan antara kuat arus (I) yang mengalir dengan jumlah massa yang terlepas ke larutan, hal ini merupakan pendekatan secara teoritis untuk menghitung jumlah aluminium yang terlepas ke larutan. Untuk memastikan hal tersebut maka dilakukan perbandingan dengan

menimbang plat elektroda setiap kali dilakukan percobaan (K. Bhani – Melhem *et al.*, 2012) dalam kondisi kering.



Gambar 5. Perbandingan konsentrasi aluminium teoritis dan percobaan yang terlepas selama proses elektrokoagulasi pada kerapatan arus 104 A/m²

Pada **Gambar 5**, konsentrasi aluminium secara teoritis menunjukkan hasil yang lebih rendah 2 – 14 % dari konsentrasi aluminium yang dihitung dari percobaan. Hal ini diduga akibat adanya beberapa pengaruh selama proses elektrokoagulasi yang mengganggu sistem, seperti perubahan kondisi permukaan plat elektroda yang semakin berkurang kemampuannya dalam menarik ion-ion dalam limbah (Mouedhen *et al.*, 2008).

Tabel 3. Laju pelepasan ion aluminium pada variasi kerapatan arus

Kerapatan Arus (A/m ²)	21	42	63	83	104
Laju Pelepasan Ion Aluminium (g/menit)	0,0014	0,0028	0,0040	0,0056	0,0071

Dari **Tabel 3**, laju pelepasan ion aluminium yang lebih tinggi terjadi pada kerapatan arus yang tinggi. Dengan mengetahui nilai laju pelepasan ion aluminium dapat digunakan untuk memperkirakan waktu penggantian elektroda. Pada kerapatan arus 104 A/m² dengan nilai laju pelepasan ion aluminium sebesar 0,0071 g/menit, dapat diperkirakan pada plat elektroda aluminium dengan berat elektroda 128 g akan habis setelah penggunaan 300 jam pengoperasian reaktor elektrokoagulasi.

Kinetika Reaktor Elektrokoagulasi

Laju perubahan konsentrasi pada reaktor elektrokoagulasi mengikuti reaksi orde satu, persamaan kinetika reaksi orde satu pada **Persamaan 6**.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (6)$$

Dimana : C_t adalah konsentrasi pada waktu t , C_0 adalah konsentrasi awal percobaan pada saat $t = 0$ dan k adalah nilai kinetika perubahan konsentrasi. Nilai k berguna untuk memprediksi besarnya penyisihan pada waktu tertentu. Semakin besar nilai k , maka semakin cepat penyisihan yang terjadi.

Pada **Tabel 4** dapat dilihat bahwa laju penyisihan kekeruhan dan COD yang paling baik pada kerapatan arus 104 A/m². Hal ini menunjukkan semakin tinggi kerapatan arus maka semakin besar laju pelepasan ion Al³⁺ akibat proses oksidasi elektrolisis pada elektroda yang mendestabilisasi kontaminan dalam bentuk flok dalam waktu singkat (Mollah *et al.*, 2004).

Tabel 4. Nilai k pada penyisihan kekeruhan dan COD

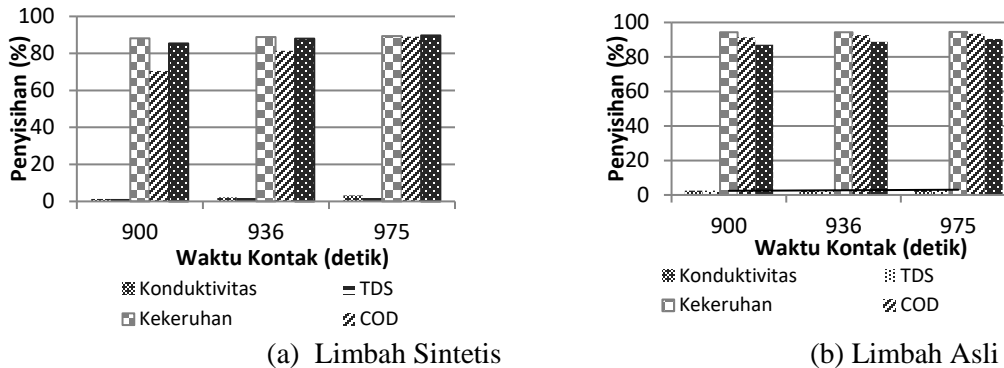
Parameter	Kerapatan Arus (A/m ²)				
	21	42	63	83	104
Kekeruhan	0,0477	0,0680	0,0848	0,1073	0,1387
COD	0,0288	0,0635	0,0866	0,1295	0,1495

Aplikasi Elektrokoagulasi Pada Sistem Menerus (Kontinyu)

Kerapatan arus 104 A/m^2 dengan waktu kontak 15 menit merupakan kombinasi paling efektif pada sistem batch dan selanjutnya diaplikasikan pada sistem menerus dengan melakukan variasi waktu kontak dan beban pengolahan. Percobaan dilakukan terhadap limbah sintetis dan limbah asli *grey water* hotel.

Pengaruh Variasi Waktu Kontak

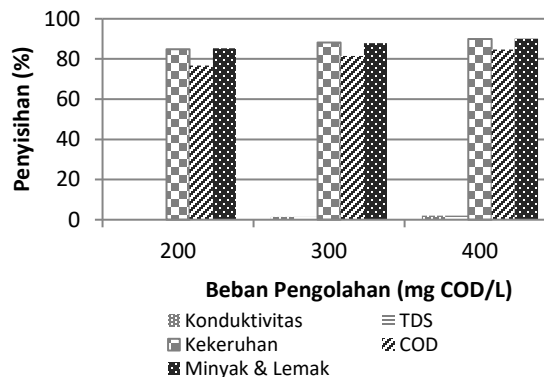
Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 900 detik, 936 detik dan 975 detik. Variasi waktu kontak tersebut diaplikasikan ke dalam system kontinyu dengan cara mengatur debit aliran, dimana debit aliran yang digunakan pada masing-masing waktu kontak yaitu 0,13 L/menit, 0,125 L/menit dan 0,12 L/menit. Berikut hasil percobaan elektrokoagulasi sistem menerus menggunakan limbah sintetis.



Gambar 6. Efisiensi penyisihan elektrokoagulasi pada sistem menerus

Pengaruh Variasi Konsentrasi Beban Pengolahan

Variasi beban yang akan dilakukan adalah 200, 300 dan 400 mg COD/L. Berikut ini adalah hasil percobaan sistem menerus dengan melihat pengaruh variasi beban pengolahan pada limbah sintetis.



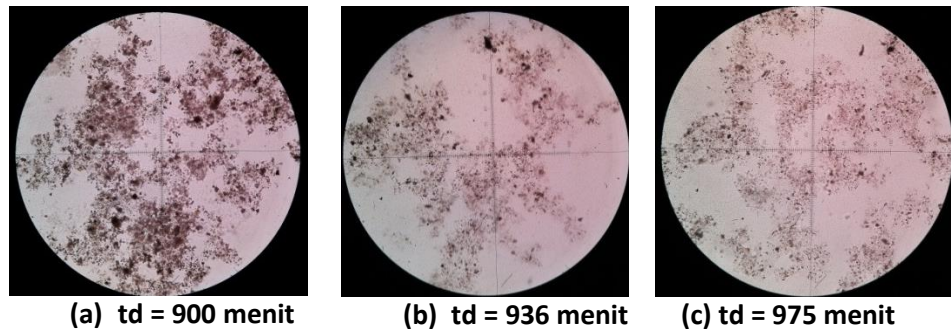
Gambar 7. Efisiensi penyisihan elektrokoagulasi pada variasi beban

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada penambahan beban pengolahan meningkatkan efisiensi penyisihan, pada beban pengolahan sebesar 400 mg COD/L memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan 90,05%, COD sebesar 85,52% dan minyak lemak sebesar 90,05%. Tingkat keberhasilan penyisihan COD dan minyak lemak ini dapat dilihat juga dari tingkat keberhasilan dalam penyisihan kekeruhan polutan. Hal ini sejalan dengan percobaan yang dilakukan oleh Li *et al* (2009) bahwa beban pengolahan yang lebih tinggi pada proses elektrokoagulasi mempengaruhi tingkat efisiensi penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak.

Mekanisme Pembentukan Flok

Pengamatan terhadap flok yang terbentuk pada sistem menerus pada variasi waktu kontak dilakukan terhadap limbah sintetis dan limbah asli dengan pembesaran 10 kali. Pengamatan bentuk dan ukuran flok

pada **Gambar 8** menunjukkan struktur flok yang besar dan terpecah-pecah. Bentuk flok yang terpecah-pecah diduga akibat terpecahnya kembali gumpalan flok yang telah membesar selama perjalanan dari inlet ke outlet. Bisa saja hal ini dipengaruhi oleh gradient hidrolis yang kecil sehingga gumpalan yang sudah terbentuk pecah kembali. Meskipun terpecah-pecah, gumpalan flok ini memiliki gaya tarik menarik yang kuat antar flok-flok yang terbentuk, sebagai adanya fenomena *sludge blanket* yang masih menjebak dan menjembatani partikel koloid yang ada dalam limbah.



Gambar 8. Bentuk dan ukuran flok pada karapatan arus 104 A/m².

Perbedaan bentuk dan ukuran flok sistem menerus pada **Tabel 5** mendekati range sistem batch sehingga diperoleh kecepatan pengendapan yang tidak jauh berbeda dengan system batch. Flok yang terbentuk dari proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda pasangan aluminium secara batch maupun system menerus memiliki ukuran dan bentuk yang lebih besar dengan densitas atau kerapatan flok relative tinggi, sehingga mudah disisihkan dan diendapkan.

Tabel 5. Kecepatan pengendapan dan ukuran flok

Waktu kontak (detik)	Limbah sintesis		Limbah asli	
	Kecepatan pengendapan (cm/det)	Ukuran partikel (µm)	Kecepatan pengendapan (cm/det)	Ukuran partikel (µm)
900	0,0740 – 0,0870	150 – 180	0,0833 – 0,0909	150 – 200
936	0,0767 – 0,0952	170 – 210	0,0870 – 0,0952	170 – 220
975	0,1053 – 0,1111	220 – 250	0,1053 – 0,1111	220 – 250

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai optimum di dalam proses pengolahan secara batch diperoleh pada variasi kerapatan arus 104 A/m² dengan laju pelepasan ion aluminium sebesar 0,0071 g/menit. Kondisi optimum tercapai pada waktu detensi 15 menit dengan tingkat penyisihan kekeruhan sebesar 87,73%, COD sebesar 87,48% dan minyak lemak sebesar 77,50%. Kinetika laju perubahan konsentrasi pada reaktor elektrokoagulasi mengikuti orde 1 dengan kerapatan arus 104 A/m² memberikan hasil terbaik. Pada aplikasi elektrokoagulasi sistem menerus dengan variasi waktu kontak 975 detik memberikan hasil terbaik dengan tingkat penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak sebesar 89,32%, 89,09% dan 89,79%, sementara pada variasi beban pengolahan 400 mg COD/L memberikan hasil terbaik dengan tingkat penyisihan kekeruhan, COD dan minyak lemak sebesar 89,97%, 61,52% dan 90,05%. Flok yang terbentuk pada sistem batch maupun sistem menerus memiliki ukuran dan bentuk yang lebih besar dengan kecepatan pengendapan pada reaktor batch sebesar 0,1176 cm/detik dengan diameter flok 250 – 1000 µm, sedangkan pada sistem menerus adalah sebesar 0,0740 – 0,1110 cm/detik dengan diameter flok 150 – 250 µm.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhani-Melhem, K., Smith, E. 2012. Grey Water Treatment By A Continuous Process Of An Electrocoagulation Unit And A Submerged Membrane Bioreactor System. *Journal of Chemical Engineering*, Vol. 198–199, pp. 201–210.
- Butler, E., Hung, Y., Yu-Li, R., Suleiman, M. 2011. Electrocoagulation in Wastewater. *Journal of Wastewater Treatment. Water.*, Vol. 3, pp.495-52.5
- Djaenudin, Syafila, M., Kardena, E., et al. 2013. Effect of Type Electrodeposition Reactor for Recovering Soluble Nickel in Electroplating Wastewater. *The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Build Environment. 19-20 November 2013*. Institut Teknologi Bandung
- Gulyas, Holger. 2007. Greywater Reuse: Concepts, Benefits, Risks and Treatment Technologies. *International Conference on Sustainable Sanitation*.
- Harif, T., Khai, M., dan Adin, A. 2012. Electrocoagulation Versus Chemical Coagulation: Coagulation/Flocculation Mechanisms and Resulting Floc Characteristics. *Water Research* 46, 3177 – 3188.
- Holt, P. K., Barton, G. W., dan Mitchell, C. A. 2005. The Future for Electrocoagulation as A Localised Water Treatment Technology. *Chemosphere*. 59: 355-367.
- Idaman, Nusa. S. 2013. Minimasi Air Limbah dan Teknologi Daur Ulang Limbah. Pelatihan Pengelolaan air limbah BPLHD DKI Jakarta. 18 Juni 2013. Pusat Lingkungan (PTL) – BPPT.
- Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Prathapar, S., Al-Harrasi, A. 2007. Evaluating Grey Water Reuse Potential for Sustainable Water Resources Management in Oman. *Environmental Monitoring Assessment (2008)* 137:315-327.
- Li, Fangyue et al. 2009. Review of The Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses. *Science of the Total Environment* Vol.407, pp.3439–3449.
- Lin, C., Lo.,S., Kuo, C dan Wu, C. 2005. Pilot-Scale Electrocoagulation with Bipolar Aluminum for On-Site Domestic Greywater Reuse. *Journal of Environmental Engineering*, pp 491- 495.
- Mechelhoff, M., Kelsall, G., and Nigel J.D.Graham. 2013. Electrochemical Behaviour of Aluminium in Electrocoagulation Processes. *Chemical Engineering Science*, Vol.95,pp. 301–312.
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Parga, J. And Cocke, D.L. 2004. Fundamentals, Present And Future Perspectives Of Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. B114, pp. 199 – 210.
- Notodarmojo, S. 1996. Field and Pilot Scale Study on The Treatment Of Textile Industry by Using Electrocoagulation Processes in a Textile Factory Near Bandung. Research Dept. of Education.